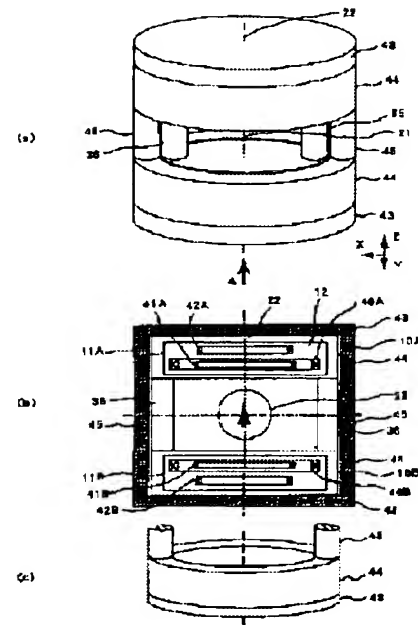


JP09190913 A0 0809503 JP08019503 JP (1996.01.10)  
 HITACHI MEDICAL CO., LTD. HITACHI LTD  
 H01F00600; A61B005055 H01F00720  
**SUPERCONDUCTING MAGNET DEVICE AND  
 MAGNETIC RESONANCE IMAGING  
 APPARATUS USING THIS DEVICE**

**Abstract:** **PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide the superconducting magnet device, wherein a broad opening is provided, magnetic-field leakage is less, a broad and uniform magnetic-field region can be obtained at high magnetic-field strength and the manufacturing cost is low. **SOLUTION:** This superconducting magnet device is constituted by providing two sets of superconducting coils 40A-42A and 40B-42B, which are arranged so as to hold a uniform magnetic-field region 21 and to face each other at an equal distance. At this time disk-shaped ferromagnetic bodies 43 and cylindrical ferromagnetic bodies 44 are arranged around the superconducting coils 40A-42A and 40B-42B. At the same time, a plurality of columnar ferromagnetic bodies 45 are arranged between the facing cylindrical ferromagnetic bodies 44. Thus, the returning path of the external magnetic flux generated by the superconducting coils 40A-42A and 40B-42B is constituted.



Eチ=97

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-190913

(43)公開日 平成9年(1997)7月22日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 F 6/00	Z A A		H 0 1 F 7/22	Z A A A
A 6 1 B 5/055			7/20	C
H 0 1 F 7/20			A 6 1 B 5/05	3 1 0

審査請求 未請求 請求項の数13 F D (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平8-19503

(22)出願日 平成8年(1996)1月10日

(71)出願人 000153498

株式会社日立メディコ

東京都千代田区内神田1丁目1番14号

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 竹島 弘隆

東京都千代田区内神田一丁目1番14号 株

式会社日立メディコ内

(72)発明者 川野 源

東京都千代田区内神田一丁目1番14号 株

式会社日立メディコ内

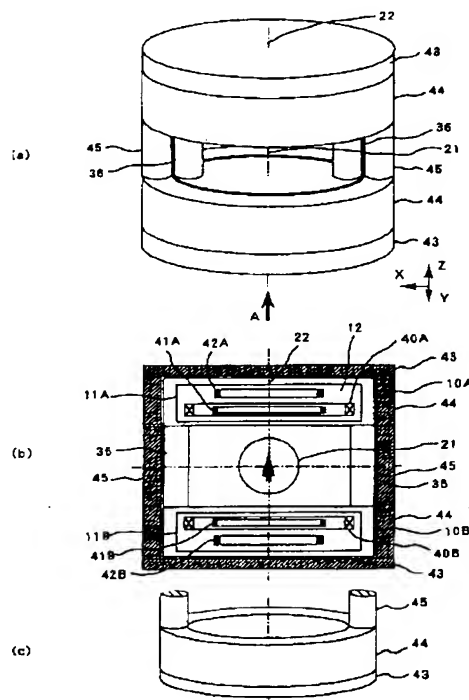
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 超電導磁石装置及びそれを用いた磁気共鳴イメージング装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 広い開口を備え、磁場漏洩が少なく、かつ、高い磁場強度において広い均一磁場領域を得ることができ、さらに製造原価の低廉な超電導磁石装置を提供する。

【解決手段】 均一磁場領域(21)を挟んで等距離に対向して配置された2組の超電導コイル(40A~42A, 40B~42B)を備えた超電導磁石装置において、その超電導コイル(40A~42A, 40B~42B)の周囲に円板状強磁性体(43)及び円筒状強磁性体(44)を配置すると共に、対向する円筒状強磁性体(44)間に複数本の柱状強磁性体(45)を配置して、超電導コイルにより発生された外部磁束の帰路を構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】超電導特性を有する物質から構成され、有限の領域に第 1 の方向に向かう均一磁場を発生させるための電流を流す磁場発生源と、該磁場発生源を超電導特性を示す温度にまで冷却し、維持するための冷却手段と、前記磁場発生源を支持するための支持手段とを具備する超電導磁石装置において、前記磁場発生源は前記均一磁場領域を挟んで前記第 1 の方向に沿ってほぼ等距離に対向して配置され、前記第 1 の方向を中心軸とする円に沿う第 2 の方向に電流を流す 2 組の磁場発生素子群から構成され、各磁場発生素子群は前記均一磁場の主成分を発生するために前記第 2 の方向に向かう電流を流す 1 個以上の第 1 の磁場発生素子と、前記均一磁場の均一度を改善するために前記第 2 の方向と同じ、又は逆向きの電流を流す 1 個以上の第 2 の磁場発生素子とから構成され、前記第 2 の磁場発生素子の直径は前記第 1 の磁場発生素子の外径よりも小さく、前記第 2 の磁場発生素子に流す電流量は前記第 1 の磁場発生素子に流す電流量よりも小さくし、前記冷却手段は前記磁場発生素子群を収納するほぼ円筒形の 2 組の冷却容器と該冷却容器間に配設された支持構造とからなり、前記磁場発生素子群の各々の周囲を包囲するように第 1 の強磁性体を配置し、該第 1 の強磁性体の各々が対向する空間内に 1 個以上の第 2 の強磁性体を配置したことを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 2】請求項 1 記載の超電導磁石装置において、前記第 1 の強磁性体は、前記均一磁場領域を基準としたとき前記磁場発生源より離れた位置に配置された円板状の強磁性体素子と、前記磁場発生源の外周に配置された円筒状の強磁性体素子とから構成され、前記第 2 の強磁性体は、1 個以上の柱状の強磁性体素子から構成され、該柱状の強磁性体素子の両端部が前記円筒状の強磁性体素子の一端と近接して配置されていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 3】請求項 1 乃至 2 記載の超電導磁石装置において、前記冷却手段は前記磁場発生源をその内部に収納する冷却容器を含み、前記第 1 の強磁性体の少なくとも一部分が前記冷却容器内に収納されていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 4】請求項 1 乃至 3 記載の超電導磁石装置において、前記第 1 の強磁性体の一部分を前記冷却容器の外周に配置したことを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 5】請求項 4 記載の超電導磁石装置において、前記冷却容器の外周に配置した第 1 の強磁性体が前記円筒状の強磁性体素子であることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 6】請求項 1 乃至 5 記載の超電導磁石装置において、前記第 1 の強磁性体が前記冷却容器の少なくとも一部の構成要素を兼ねていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 7】請求項 1 乃至 6 記載の超電導磁石装置において、前記第 2 の強磁性体が前記支持構造の少なくとも一部の構成要素を兼ねていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 8】請求項 1 乃至 7 記載の超電導磁石装置において、前記第 2 の強磁性体が複数個配置され、前記第 1 の強磁性体のうちの円筒状の強磁性体素子の円筒部の長さが、一様でなく、前記第 2 の強磁性体が存在する方向における長さが前記第 2 の強磁性体が存在しない方向における長さよりも長いことを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 9】請求項 8 記載の超電導磁石装置において、前記第 2 の強磁性体が前記第 1 の方向に直交する第 3 の方向に、前記均一磁場領域からほぼ等距離の位置に 2 組配置され、前記第 1 の強磁性体の前記第 3 の方向における長さが、前記第 1 の方向及び前記第 3 の方向の両者に直交する方向における長さよりも長いことを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 10】請求項 1 乃至 9 記載の超電導磁石装置において、前記磁場発生源は、前記第 1 の強磁性体及び前記第 2 の強磁性体と組合せて前記均一磁場領域に発生する磁場を補正し、前記均一磁場領域に所望の磁場強度と磁場均一度が得られるように配置されたことを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 11】請求項 1 乃至 10 記載の超電導磁石装置において、前記磁場発生素子群がさらに前記第 1 の強磁性体の内部における磁束密度を低減する方向の電流を流す第 3 の磁場発生素子具备することを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 12】請求項 11 記載の超電導磁石装置において、前記第 3 の磁場発生素子の起磁力は前記第 1 の強磁性体の重量がほぼ最小になるように選択されていることを特徴とする超電導磁石装置。

【請求項 13】請求項 1 乃至 12 記載の超電導磁石装置を用いた磁気共鳴イメージング装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気共鳴イメージング装置（以下、MRI 装置という。）に適した超電導磁石装置に係り、特に、広い開口を有することで被検者に解放感を与え、また、術者には被検者へのアクセスを容易にすると共に、磁場漏洩を少なくし、かつ、製造コストを抑制した超電導磁石装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】図 10 に従来の MRI 装置用超電導磁石装置の第 1 の例を示す。図 10 に示したものは、水平磁場方式の超電導磁石装置である。この超電導磁石は直径の小さな主コイル 13、14、15、16、17、18 と直径の大きなシールドコイル 19、20 とで構成されており、水平方向（Z 軸方向）の磁場を発生させる。こ

の例では、主コイル13～18が磁石の中心軸22に沿って磁場を作り、シールドコイル19、20は周囲への磁場漏洩をシールドするために配置されている。このように磁石を構成することにより、磁場空間内に約10ppm以下の磁場均一度を有する均一磁場領域21が形成される。磁気共鳴イメージング撮影はこの均一磁場領域21にて行われる。

【0003】これらのコイルは通常超電導線材を用いて作られるので、所定の温度（例えば、合金系超電導体の場合には液体ヘリウム温度（4.2K）、酸化物超電導体の場合には液体窒素温度（77K））にまで冷却する必要がある。そのため、コイルは、真空容器や熱シールド（図示せず）および冷媒容器（液体ヘリウムなどを収容）などから構成される冷却容器の中に保持される。図10の例では、コイル13～20は液体ヘリウムなどの超電導用冷媒12を収容した冷媒容器11の中に支持体（図示なし）に支持されて配設されており、さらに冷媒容器11は真空容器10に保持されている。

【0004】また、コイルの温度を低く保つために冷凍機（図示せず）を用いて、熱シールドの温度を一定に保ったり、超電導用冷媒12の蒸発量を低減させたりしている。最近では、冷凍機の性能が向上してきており、超電導コイルを直接冷凍機で冷やすことによって、超電導用冷媒12を使用しない場合もある。

【0005】図10に示す超電導磁石装置の場合、撮影のために被検者が入る測定空間が狭く、周囲も囲まれているために被検者に閉塞感を与える。このため、ときどき、装置内に入ることを被検者に拒否される場合もあった。また、装置の外部から、術者が被検者へアクセスすることも困難であった。

【0006】図11に従来のMRI装置用超電導磁石装置の第2の例（垂直磁場方式）を示す。図11（a）は装置の概略を示す外観図、図11（b）は図11（a）のA視断面図である。この従来例は米国特許第5,194,810号に開示されている。この磁石は、上下方向に対向して配置した2組の超電導コイル23により磁場を発生させ、超電導コイル23の内側に良好な磁場均一度を得るための鉄によるシミング手段24を設けて、均一磁場領域21の磁場均一度を向上させている。さらに、上下の超電導コイル23が発生する磁場の帰路としての役割を兼ねた鉄板25と鉄ヨーク26とが配置され、鉄板25は超電導コイル23とシミング手段24を支持し、その鉄板25の間を鉄ヨーク26が機械的に支持する構造をとっている。

【0007】この従来例では、四方に開放されているので、被検者は閉塞感を受けずに済み、術者も容易に被検者にアクセスできる。また、鉄板25と鉄ヨーク26によって磁束の帰路を構成しているために、磁場漏洩を少なくすることができる。しかし、鉄板25や鉄ヨーク26を用いているために、磁束重量が重くなり、装置を設

置する際に床の強化が必要になるという問題が生じる。また、鉄の飽和磁束密度はほぼ2テスラ程度であるので、あまり磁束強度を高くすることができないという制限もある。さらに、鉄は磁場に対してヒステリシス特性を持つために、傾斜磁場コイルが発生する磁場によって磁場分布に影響を与え、高精度の信号計測の妨げになる可能性があった。

【0008】本発明の発明者達は上記の2つの従来例の問題点を解決した発明として平成7年11月30日に別の特許出願（発明の名称：超電導磁石装置、特許出願人：日立メディコ、日立製作所）をしている（以下、第3の従来例という。）。この発明の構成はオープン型垂直磁場方式で、その概略構成を図12に示す。図12

（a）は断面図、図12（b）は外観図である。図12（a）において、真空容器10A、10B及び冷媒容器11A、11B内に収納された2組の超電導コイルが均一磁場領域21を挟んで対向して中心軸22に同軸に配置されている。超電導コイルは、均一磁場領域21に主磁場を発生するコイル31A、31B（以下、主コイルという。）と、主コイルによる磁場と逆方向の磁場を発生して外部磁場を打ち消すためのコイル32A、32B（以下、打ち消しコイルという。）と、均一磁場領域21の磁場均一度を補正するためのコイル33A、34A、35A、33B、34B、35B（以下、調整コイルという。）とからなる。真空容器10Aと10Bの間は支柱26により支持されている。この発明の特徴は、主コイルによって作られる外部磁場を打ち消しコイルによって打ち消して、磁場漏洩を少なくすることにある。この場合、漏洩磁場を低減するために鉄を用いていないので、第2の従来例のような問題点は生じない。

【0009】しかし、打ち消しコイルを使用しているために、均一磁場領域21に発生する磁場強度も弱くなってしまう。この結果、均一磁場領域21の磁場強度を大きくしようとすると、主コイル及び打ち消しコイルに要求される起磁力は膨大なものとなり、原価の上昇につながる。また、各超電導コイルに加わる電磁力も起磁力に応じて大きくなるので、構造的に厳しい条件が要求される。

【0010】一般に、打ち消しコイルと主コイルとの距離が近いほど、両者の発生する磁場が打ち消し合うために、上記の問題はより厳しくなる。一方、両コイルの間の距離を大きくすると、それを収納するための冷却容器が大型化し、やはり原価アップの原因になる。また、被検者を挿入する均一磁場領域の床面からの位置も高くなり、被検者の安全性の面からも問題であった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上記の従来技術で述べた如く、これまでは被検者に解放感を与える広い開口を有する超電導磁石装置において、磁場漏洩を少なくし、かつ、高い磁場強度においても広い均一磁場領域を得る

ことは困難であった。さらに、製造原価についても、これを低廉にするのは難しかった。従って、本発明では、上記課題を解決し、広い開口を備え、磁場漏洩が少なく、かつ、高い磁場強度において広い均一磁場領域を得ることができ、さらに製造原価の低廉な超電導磁石装置を提供することを目的とする。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の目的は、次の解決手段によって達成される。本発明の超電導磁石装置は、超電導特性を有する物質から構成され、有限の領域に第1の方向に向かう均一磁場を発生させるための電流を流す磁場発生源と、該磁場発生源を超電導特性を示す温度にまで冷却し、維持するための冷却手段と、前記磁場発生源を支持するための支持手段とを具備する超電導磁石装置において、前記磁場発生源は前記均一磁場領域を挟んで前記第1の方向に沿ってほぼ等距離に対向して配置され、前記第1の方向を中心軸とする円に沿う第2の方向に電流を流す2組の磁場発生素子群から構成され、各磁場発生素子群は前記均一磁場の主成分を発生するために前記第2の方向に向かう電流を流す1個以上の第1の磁場発生素子と、前記均一磁場の均一度を改善するために前記第2の方向と同じ、又は逆向きの電流を流す1個以上の第2の磁場発生素子とから構成され、前記第2の磁場発生素子の直径は前記第1の磁場発生素子の外径よりも小さく、前記第2の磁場発生素子に流す電流量は前記第1の磁場発生素子に流す電流量よりも小さくし、前記冷却手段は前記磁場発生素子群を収納するほぼ円筒形の2組の冷却容器と該冷却容器間に配設された支持構造とからなり、前記磁場発生素子群の各々の周囲を包囲するように第1の強磁性体を配置し、該第1の強磁性体の各々が対向する空間内に1個以上の第2の強磁性体を配置する（請求項1）。

【0013】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記第1の強磁性体は、前記均一磁場領域を基準としたとき前記磁場発生源より離れた位置に配置された円板状の強磁性体素子と、前記磁場発生源の外周に配置された円筒状の強磁性体素子とから構成され、前記第2の強磁性体は、1個以上の柱状の強磁性体素子から構成され、該柱状の強磁性体素子の両端部が前記円筒状の強磁性体素子の一端と近接して配置されている（請求項2）。

【0014】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記冷却手段は前記磁場発生源をその内部に収納する冷却容器を含み、前記第1の強磁性体の少なくとも一部分が前記冷却容器内に収納されている（請求項3）。

【0015】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記第1の強磁性体の一部分を前記冷却容器の外部に配置している（請求項4）。

【0016】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記冷却容器の外部に配置した第1の強磁性体が前記円筒状の強磁性体素子である（請求項5）。

【0017】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記第1の強磁性体が前記冷却容器の少なくとも一部の構成要素を兼ねている（請求項6）。

【0018】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記第2の強磁性体が前記支持構造の少なくとも一部の構成要素を兼ねている（請求項7）。

【0019】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記第2の強磁性体が複数個配置され、前記第1の強磁性体のうちの円筒状の強磁性体素子の円筒部の長さが、一様でなく、前記第2の強磁性体が存在する方向における長さが前記第2の強磁性体が存在しない方向における長さよりも長い（請求項8）。

【0020】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記第2の強磁性体が前記第1の方向に直交する第3の方向に、前記均一磁場領域からほぼ等距離の位置に2組配置され、前記第1の強磁性体の前記第3の方向における長さが、前記第1の方向及び前記第3の方向の両者に直交する方向における長さよりも長い（請求項9）。

【0021】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記磁場発生源は、前記第1の強磁性体及び前記第2の強磁性体と組合せて前記均一磁場領域に発生する磁場を補正し、前記均一磁場領域に所望の磁場強度と磁場均一度が得られるように配置されている（請求項10）。

【0022】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記磁場発生素子群がさらに前記第1の強磁性体の内部における磁束密度を低減する方向の電流を流す第3の磁場発生素子を具備する（請求項11）。

【0023】本発明の超電導磁石装置はさらに、前記第3の磁場発生素子の起磁力は前記第1の強磁性体の重量がほぼ最小になるように選択されている（請求項12）。

【0024】本発明の磁気共鳴イメージング装置は上記の本発明の超電導磁石装置を用いたものである（請求項13）。

#### 【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を添付図面に従って説明する。本発明の超電導磁石装置の第1の実施例を図1に示す。図1(a)は外観図、図1(b)は縦断面図、図1(c)は部分外観図である。この超電導磁石装置の基本的な構成要素としては、まず、磁場を発生するための超電導コイルがある。また、超電導コイルを所定の超電導特性が得られる温度に冷却保持するための冷却容器がある。さらに、本発明に係わる強磁性体を超電導コイルの周囲に配置している。また、図1では簡単のために省略したが、超電導コイルを支持する構造体がある。

【0026】超電導コイルの材料としては、NbTiなどの合金系超電導体の線材や酸化物超電導体の線材が使用されるが、ここでは通常よく使用されているNbTi線材を使用した場合について説明する。NbTi線材を

使用した超電導コイルを冷却するため超電導用冷媒12として液体ヘリウムが用いられ、これを収納する冷媒容器11A、11Bは真空容器10A、10B内に保持されている。真空容器10A、10B内にはこの他に熱の輻射を防ぐための熱シールド（図示せず）などが含まれる。超電導コイルはこの真空容器10A、10Bの中に収納された状態で用いられる。超電導コイル線材として高温で使用可能な超電導体（ $\text{Nb}_3\text{Sn}$ 、酸化物超電導体など）を使用した場合には、第1の従来例で述べた如く、冷凍機による直接冷却や液体窒素での冷却などが可能となる。

【0027】超電導コイルは装置のほぼ中央部に位置する均一磁場領域21を挟んで上下に中心軸22と同軸に対称に配置されている。それに応じて、超電導コイルを真空容器10A、10Bも円筒状のものが上下対称に配置され、両真空容器はその間に配置された支柱36によって所定の間隔をとって支持される。この支柱36は、機械的に上下の真空容器10A、10Bを支える働き他に、場合によっては、上下の冷媒容器11A、11Bを熱的に接続させる働きを持たせてもよい。そのような構成にすると、冷凍機等を上下に1台ずつ設ける必要がなくなり、システムに1台の冷凍機で間に合わせることができる。また、支柱36の本数も図示の2本に限定する必要はなく、3本又は4本と増やすこともできるし、開放感を得るためには、片持ちの1本の支柱としてもよい。

【0028】図1（b）において、超電導コイルは上下3個ずつのコイルの組で示してあるが、その働きは均一磁場領域21に強力でかつ均一度の良い静磁場を発生させることである。直径の最も大きな超電導コイル40A、40B（以下、主コイルという。）は、均一磁場領域21に磁場強度が高くかつ所定レベル以上の磁場均一度の磁場を発生させるためのものである。直径の小さな超電導コイル41A、41B、42A、42B（以下、調整コイルという。）は、主コイル40A、40Bによって均一磁場領域21に発生させた静磁場の磁場均一度を調整するためのもので、各コイルの配置や起磁力を調整して磁場均一度を向上させる。また、調整コイルの電流の向きは、主コイルによって発生する磁場の不均一成分に応じて各コイル毎に決定すればよく、一定方向に限定する必要はなく、主コイルと同方向又は逆方向に適宜選択される。さらに、超電導コイルの個数は図示の3個に限定されることはなく、2個以下でも4個以上でもよく、磁場の不均一成分と製造原価との兼ね合いに応じて最適の個数を決定できる。一般に、主コイルの直径が大きいほど磁場不均一成分は少なくなるので、調整コイルの個数、あるいは起磁力を少なくできる。

【0029】本実施例では、超電導コイルによって装置外部に発生する磁場漏洩を、強磁性体43、44、45によって効果的に低減させる構造をとっている。図1

（b）に示すように、上下の真空容器10A、10Bの周囲を強磁性体43、44で包囲し、さらに、上下の強磁性体43、44を柱状の強磁性体45によって磁気的につなぐ構造になっている。強磁性体43は円板状のもので、真空容器10Aの上側及び真空容器10Bの下側に配置され、強磁性体44は円筒状のもので、真空容器10A、10Bの周囲を取り囲むように配置され、両強磁性体43と44は磁気的につながっている。ここで用いられる強磁性体材料としては、磁気的に強磁性を示すものであればよく、磁気的特性、コスト、機械的強度を考慮すれば、一般的には鉄が望ましい。図1（c）は、参考のために強磁性体の部分のみを取り出して示した外観図（下側部分のみ）である。

【0030】上記の如く超電導コイルの周囲を強磁性体で囲むことにより、装置外部に発生する磁束については強磁性体の中に磁路が形成されるため、漏洩磁場が装置の遠方にまで広がることを抑制することができる。さらに、この構造では、前述の第2の従来例（図11参照）の如く磁場均一化手段を用いることなく、超電導コイルの起磁力、配置を最適化することで所望の磁場均一度を達成している。この結果、傾斜磁場コイルが発生するパルス磁場が磁場均一化手段内部の磁場分布に影響を与えるという問題が生じないという利点がある。従って、安定な磁場分布が得られるので、高精度な信号計測が可能となる。また、磁場均一化手段のように超電導コイルに接近した位置に強磁性体を配置していないので、強磁性体の磁気飽和が起こりにくく高い磁場強度を得ることが容易になった。

【0031】また、本実施例では第3の従来例の如き打ち消しコイルを使用していないので、所望の磁場強度を得るのに必要な超電導コイルの起磁力は第3の従来例に比べ $1/2 \sim 1/3$ 程度に小さくなる。従って、超電導コイルに使用する超電導線材の長さが短くなるので、素材費、加工費、組立費などのコスト面で多大なメリットがある。

【0032】強磁性体45の本数は必要に応じて何本でもよいが、一般には支柱36の本数と同数にすることによって、被検者の入る空間が外観上広く感じられる利点を得られる。

【0033】さらに、図1（b）では強磁性体43を上下に配置しているが、装置を設置した部屋の下部に漏洩磁場が発生しても支障がない場合には、下側の強磁性体43を省略することも可能である。この場合には装置重量の軽量化が図れる。ただし、強磁性体の配置が上下で非対称となるので、超電導コイルの配置もそれに応じた形状とすることが必要である。

【0034】また、図1（b）には円筒状強磁性体44の長さが一様になっているものを図示したが、この長さは円周に沿って必ずしも一様である必要はなく、支柱36及び柱状強磁性体45が存在する方向については長く



し、それ以外の方向については短くしてもよい。その結果、支柱36及び柱状強磁性体の存在しない方向、すなわち被検者が挿入される方向の、円筒状強磁性体44の間隔が大きくなるので、被検者にとっての開放感は向上する。

【0035】本発明の超電導磁石装置の第2の実施例を図2に示す。図2(a)は外観図、図2(b)は縦断面図である。本実施例では、強磁性体を全て真空容器の内部に収納することにより、装置の小型化を図っている。図2(b)において、超電導コイル40A、41A、42Aと40B、41B、42Bは第1の実施例と同様に真空容器10A、10Bに収納されて、均一磁場領域21を挟んで対向配置されているが、さらに円板状強磁性体43と円筒状強磁性体44も超電導コイルを包囲する配置で真空容器10A、10Bに収納されている。柱状強磁性体45も真空容器を兼ねた支柱36の内部に収納されている。

【0036】上記の如く構成することにより、強磁性体43、44はその直径を小さくできるために、装置の小型化の他に重量の低減にも効果がある。また、一般に強磁性体の透磁率は温度によって変化するので、この温度変化が大きい場合には均一磁場領域内の磁場強度分布に影響する。本実施例のように、真空容器の内部に強磁性体を収納することで室温の変化の影響を受けにくくなるので、磁場安定度の向上に効果がある。

【0037】本発明の超電導磁石装置の第3の実施例を図3に示す。図3(a)は外観図、図3(b)は縦断面図である。本実施例では、第2の実施例に対し強磁性体の一部を真空容器の外部にも配置したものである。図3(b)において、円筒状強磁性体は外径の小さい強磁性体A46A、46Bと外径の大きい強磁性体B47A、47Bとに分割され、強磁性体Aは真空容器10A、10Bの内部に収納され、強磁性体Bは真空容器10A、10Bの周囲に配置されている。

【0038】通常の場合、最も起磁力の大きな主コイル40A、40Bの近傍に配置した円筒状強磁性体での磁束密度が最も高くなるので、この付近で磁束飽和が最も起こり易いため、この部分の強磁性体の厚さを厚くする必要がある。しかし、強磁性体を厚くすると真空容器も大型化する必要があり、コスト上昇につながる。本実施例のように、円筒状強磁性体を分割して一部(強磁性体B)を真空容器10A、10Bの外部に配置することにより、真空容器10A、10Bの大型化を伴わずに実質的な磁束飽和を防止することができる。また、この場合に真空容器10A、10B内の外径の小さい強磁性体A46A、46Bを省き、外部にある外径の大きい強磁性体B47A、47Bだけで済ませることも可能である。

【0039】本発明の超電導磁石装置の第4の実施例を図4に示す。図4は、第4の実施例の超電導磁石装置の下側の強磁性体部分の外観図を示したものである。本実

施例では、柱状の強磁性体45を均一磁場領域21から遠ざけた配置としている。そのために、円板状強磁性体43及び円筒状強磁性体44の外周に三日月状の強磁性体48を磁気的に接続するように配置し、その上に柱状の強磁性体45を配設したものである。三日月状強磁性体48の個数は柱状強磁性体45の本数に応じて決められる。

【0040】上記の如く、柱状強磁性体45を均一磁場領域21から距離を離すことにより、柱状強磁性体45が均一磁場領域21の磁場強度分布に及ぼす影響を低減させている。また、各々の柱状強磁性体45の間の間隔が広がるので、被検者にとっての開放感は向上する。

【0041】本発明の超電導磁石装置の第5の実施例を図5に示す。図5は縦断面図を示したものである。本実施例では、真空容器、又は冷媒容器の一部を強磁性をもつ材料で製作することにより、強磁性体に容器の一部を兼ねさせたものである。図5において、円板状強磁性体43と円筒状強磁性体44は超電導コイルの冷媒容器11A、11Bの一部を構成し、その外側に配置された底付円筒状の強磁性体49は真空容器10A、10Bの一部を構成している。図5に示したものは、円板状強磁性体と円筒状強磁性体を分割して、真空容器と冷媒容器の一部を構成させているが、この実施例ではこれに限定されず、分割せずに真空容器又は冷媒容器のみの一部を構成させても良い。

【0042】上記のような構成にすることにより、真空容器又は冷媒容器を強磁性体以外の別の材料で製作する場合に比べて、装置をさらに小型にすることができる。

【0043】本発明の超電導磁石装置の第6の実施例を図6に示す。図6は縦断面図を示したものである。本実施例では、超電導コイルの周囲に配置する強磁性体の重量を低減するために、超電導コイルに打ち消しコイル50A、50Bを追加したものである。打ち消しコイル50A、50Bを追加することで、主コイル40A、40Bと逆向きの磁場を発生することで、打ち消しコイルを配置した位置の近傍の強磁性体内の磁束密度を低減させている。図7(a)、図7(b)に、打ち消しコイルがない場合とある場合の強磁性体内の磁束密度の分布例を示す。図7(a)、図7(b)は超電導磁石装置の上側部分の磁束密度分布(半分)を示したものであるが、打ち消しコイル50Aを追加することによって、打ち消しコイルの周辺の強磁性体の磁束密度が低減されることがはっきり示されている。しかし、主コイル40Aの周囲の強磁性体内の磁束密度はわずかに大きくなっているが、目立った増加がないことが確認された。この結果、打ち消しコイルの周囲の強磁性体の厚さを薄くすることができるので、強磁性体の重量低減の効果が得られる。

【0044】ただし、打ち消しコイルの起磁力を大きくし過ぎると、主コイルに近い部分の強磁性体内部に磁束飽和が発生するので、主コイルの近くの強磁性体の厚

さを厚くしなければならない。これに関連して、打ち消しコイルの起磁力と強磁性体の重量との関係について検討した結果の一例を図8にグラフで示す。この図は、打ち消しコイルの起磁力を増加した時に所望のシールドをするのに必要な強磁性体の重量がどのように変化するかを計算機シミュレーションにより計算した結果である。この例では、打ち消しコイルの起磁力を0.2~0.3

(相対値)程度に取った場合に強磁性体の重量が最小になることがわかる。この最適な起磁力は、均一磁場領域に発生させる磁場強度や漏洩磁場の仕様によって変わるので、計算機シミュレーション等による最適化が必要である。

【0045】また、強磁性体内部に磁束飽和を発生させないためには、打ち消しコイルを複数個に分割して、磁束密度分布の分散を図ることも有効である。また、上述したような打ち消しコイルの起磁力を最適化することで強磁性体重量を低減する方法は、図10の従来技術で示したような水平磁場方式の磁石にも適用することが可能である。

【0046】本発明の超電導磁石装置の第7の実施例を図9に示す。図9は縦断面図を示したものである。本実施例では、下側の円板状強磁性体43を、装置を設置する部屋の床面に埋める構造をとっている。図9において、下側の円板状強磁性体43は床面51より下に埋設されるので、床面51から均一磁場領域21の中心までの撮影中心高さ52が低くなり、この結果、被検者が高さに対する恐怖感を抱かずにすむ。また、被検者のテーブルへの昇降も楽に行うことができる。

【0047】さらに、超電導磁石装置を病院等に設置する際には、装置重量に対する補強のために床面を鉄板等で補強することが一般的に行われている。従って、この補強用の鉄板を下側の円板状強磁性体として兼用することも可能である。

【0048】

【発明の効果】以上説明した如く、本発明によれば、超電導磁石装置において、広い開口を備え、磁場漏洩が少なく、高い磁場強度において広い均一磁場領域を得ることができ、さらに、製造原価の低廉な超電導磁石装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の超電導磁石装置の第1の実施例を示す

図。

【図2】本発明の超電導磁石装置の第2の実施例を示す図。

【図3】本発明の超電導磁石装置の第3の実施例を示す図。

【図4】本発明の超電導磁石装置の第4の実施例を示す図。

【図5】本発明の超電導磁石装置の第5の実施例を示す図。

【図6】本発明の超電導磁石装置の第6の実施例を示す図。

【図7】打ち消しコイルがない場合とある場合の強磁性体内の磁束密度の分布例を示す図。

【図8】打ち消しコイルの起磁力と強磁性体の重量との関係を示す図。

【図9】本発明の超電導磁石装置の第7の実施例を示す図。

【図10】従来のMRI装置用超電導磁石装置の第1の例を示す図。

【図11】従来のMRI装置用超電導磁石装置の第2の例を示す図。

【図12】従来のMRI装置用超電導磁石装置の第3の例を示す図。

【符号の説明】

10, 10A, 10B 真空容器

11, 11A, 11B 冷媒容器又は冷却容器

12 超電導用冷媒

21 均一磁場領域

22 中心軸

36 支柱

40A, 40B 主コイル

41A, 41B, 42A, 42B, 46A, 46B, 4

7A, 47B 調整コイル

43 円板状強磁性体

44 円筒状強磁性体

45 柱状強磁性体

48 三日月状強磁性体

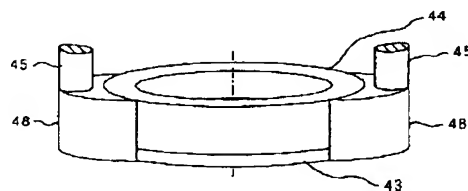
49 底付円筒状強磁性体

50A, 50B 打ち消しコイル

51 床面

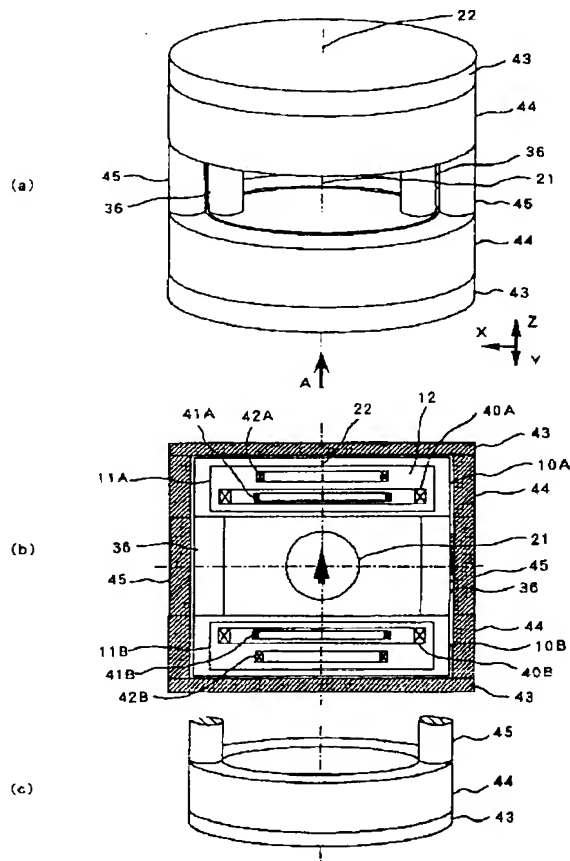
52 撮影中心高さ

【図4】

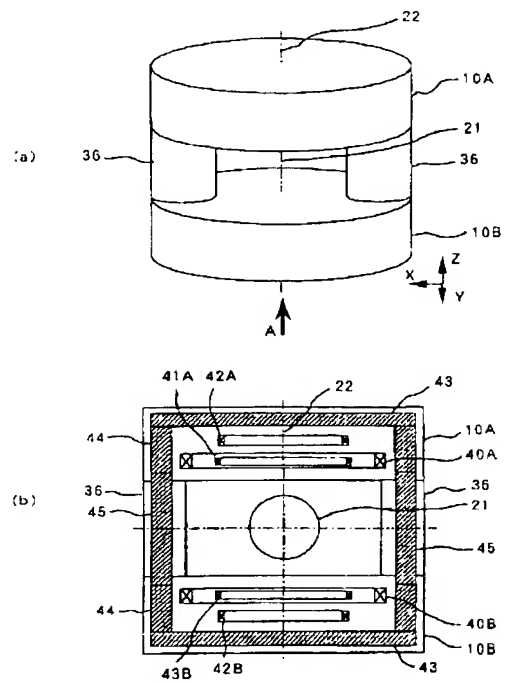




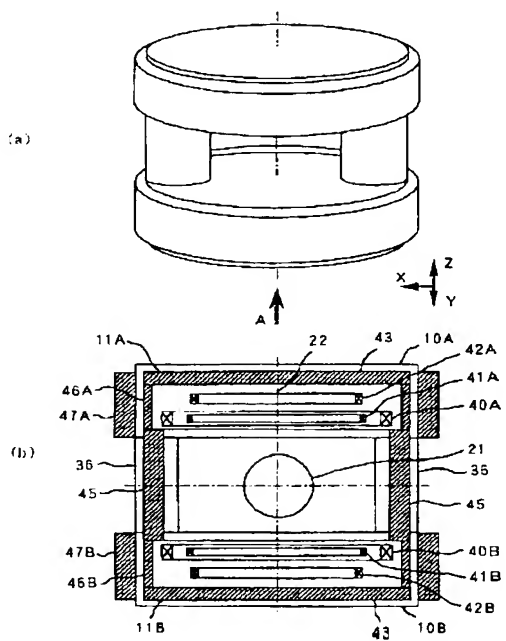
【図 1】



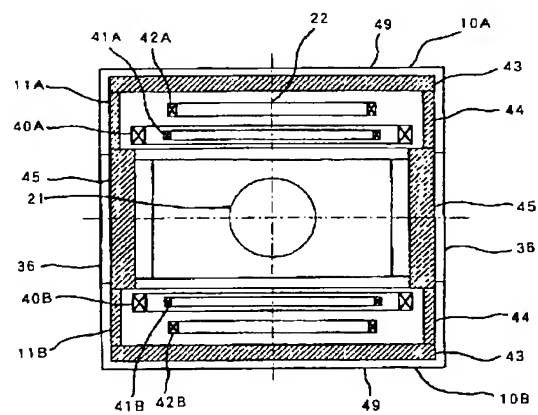
【図 2】



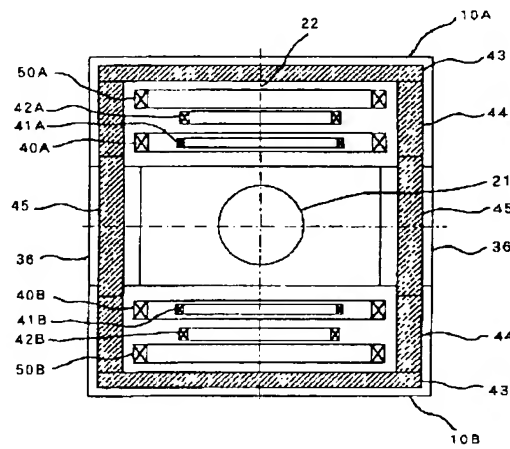
【図 3】



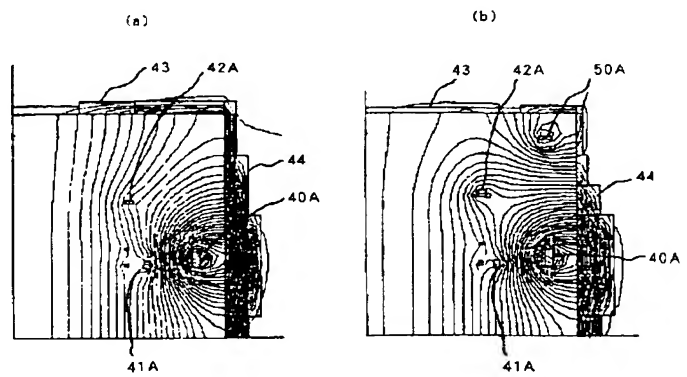
【図 5】



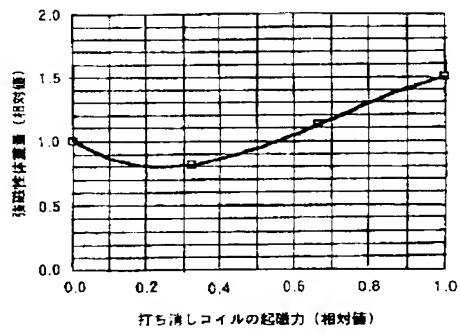
【図6】



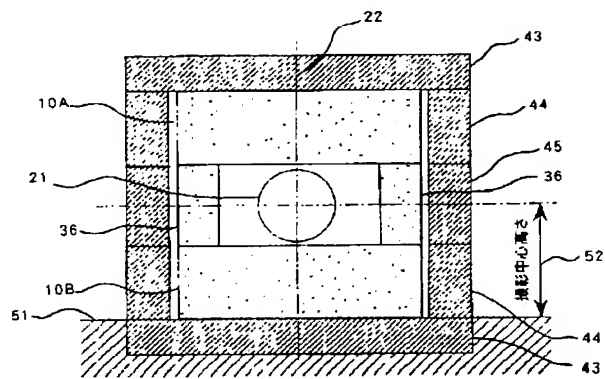
【図7】



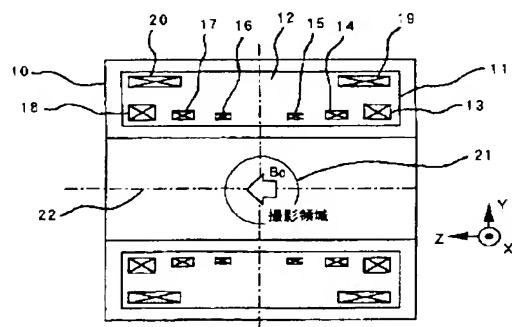
【図8】



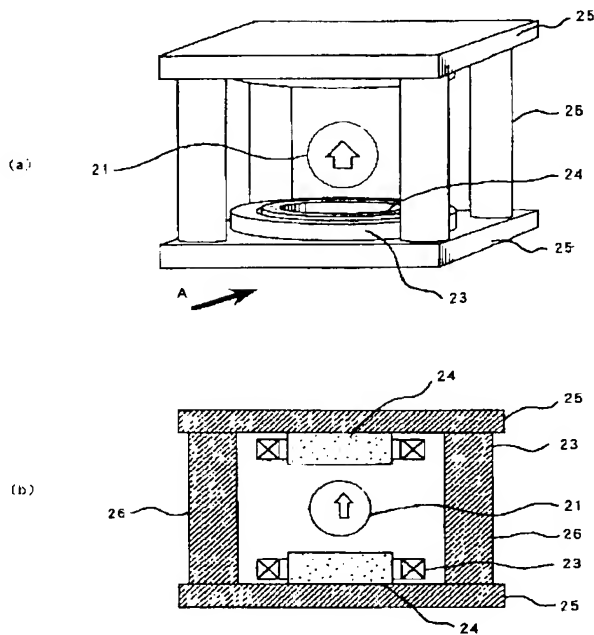
【図9】



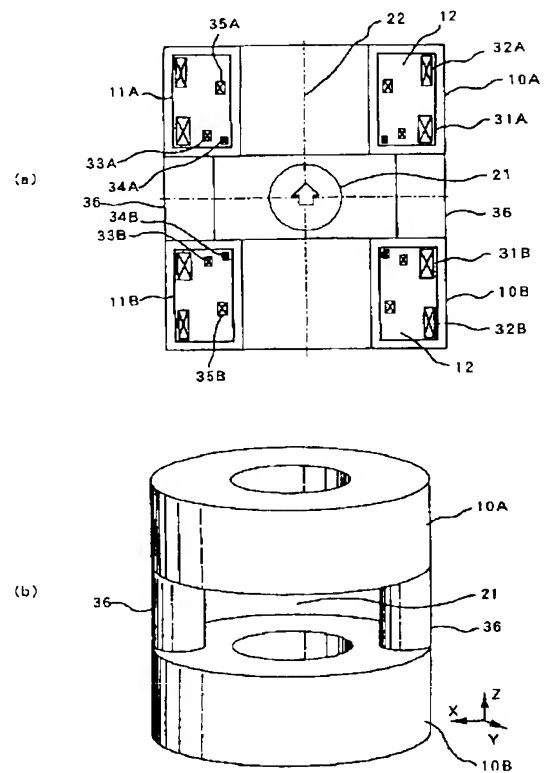
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 角川 滋

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
式会社日立製作所日立研究所内